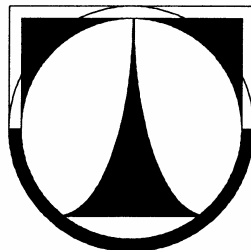


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
Katedra vozidel a motorů



**HYBRIDNÍ POHONNÁ JEDNOTKA NA BIOPALIVA PRO
MOTOROVÉ ŽELEZNIČNÍ VOZY**

BIOFUEL HYBRID UNIT FOR RAIL CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

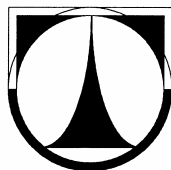
Jiří Novotný

Květen 2009

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor 2301R022

Stroje a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**HYBRIDNÍ POHONNÁ JEDNOTKA NA BIOPALIVA PRO
MOTOROVÉ ŽELEZNIČNÍ VOZY**

BIOFUEL HYBRID UNIT FOR RAIL CARS

Bakalářská práce

KVM – BP – 190

Jiří Novotný

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Josef Laurin, CSc. - KVM

Konzultant diplomové práce: MSc. Michal Vojtíšek - KVM

Počet stran: 42

Počet obrázků: 30

Počet příloh: 0

Počet výkresů: 0

Květen 2009

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

HYBRIDNÍ POHONNÁ JEDNOTKA NA BIOPALIVA PRO MOTOROVÉ ŽELEZNIČNÍ VOZY

Anotace

Úkolem bakalářské práce je provést návrh koncepce hybridní jednotky a uvést přibližný výpočet jízdních energií zvoleného vozu.

Klíčová slova: hybrid, motorový vůz, agregát, akumulátor, dvojkolí, výkon, energie

BIOFUEL HYBRID UNIT FOR RAIL CARS

Annotation

The aim of this bachelor thesis is to draw up the project of hybrid unit and calculate driving energy for the specific rail car.

Key words: hybrid, rail car, aggregate, accumulator, wheel set, output power, energy

Zpracovatel:
Dokončeno :
Archivní označení zprávy:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
2009

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....
podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Josefovi Laurinovi a konzultantovi MSc. Michalovi Vojtíškovi za odborné vedení, pomoc při zpracování diplomové práce a cenné rady.

Dále bych rád poděkoval Ing. Stanislavu Žlebkovi, p. Martinovi Šílovi a Ing. Horovi za poskytnutí užitečných materiálů.

V neposlední řadě bych rád poděkoval Ing. Bedenickému a p. Jiřímu Novotnému za praktické zkušenosti z oblasti motorových vozů.

Seznam symbolů a jednotek

P_{pj}	výkon potřebný k jízdě	[W]
P_{jo}	výkon k překonání jízdních odporů	[W]
P_o	výkon odebraný z akumulátorů	[W]
P_c	výkon celkový	[W]
P_b	výkon, který je potřeba dodat z baterií	[W]
s	stoupání tratě	[‰]
t	čas	[s]
I	proud	[A]
U	napětí	[V]
E_{bo}	energie odebraná z akumulátoru	[Ah]
E_{bd}	energie akumulátoru dodaná	[Ah]
E_c	energie celková	[Ah]
kv	kilometrická vzdálenost	[km]

Obsah

1	Vývoj motorových železničních vozů v ČR	9
1.1	Motorové vozy	9
1.2	Historický vývoj motorových vozů	9
1.3	Rozdělení motorových vozů:	15
1.3.1	Podle počtu náprav na:	15
1.3.2	Podle uspořádání pohonu	15
1.3.3	Podle druhu přenosu výkonu na přenos:	16
1.3.4	Principy jednotlivých přenosů:	16
1.3.4.1	Mechanický	16
1.3.4.2	Elektrický	17
1.3.4.2.1	Stejnoseměrný	17
1.3.4.2.2	Střídavě stejnosměrný	18
1.3.4.3	Hydrodynamický	18
1.3.4.4	Hydrostatický	18
1.3.4.5	Hybridní	19
1.3.4.5.1	Sériové uspořádání	20
1.3.4.5.2	Paralelní uspořádání	20
1.3.4.6	Kombinace viz předchozí	21
1.4	Někteří výrobci motorových vozů:	21
2	Hybridní pohon v železniční dopravě	22
2.1	Použití hybridního pohonu pro motorové vozy	22
3	Alternativní paliva	24
3.1	Minimální počáteční investice	24
3.2	Nové pohony	24
3.3	Biopaliva	24
4	Rozbor vhodnosti použití vozu k přestavbě	25
4.1	Hledisko principu hybridního pohonu	25
4.2	Hledisko použitelnosti stávající konstrukce	25
5	Vůz řady 843:	26
5.1	Popis provozních režimů a přenosů energie:	26
5.2	Hnací soustrojí:	27
5.3	Technické údaje:	27
6	Rozbor vhodnosti uspořádání hybridního pohonu:	30
6.1	hledisko paralelní vs. seriové uspořádání	30
6.2	Hledisko uspořádání pohonu pro jednotlivé podvozky	30
7	Orientační výpočet hybridního pohonu:	32
7.1	Předpoklady výpočtu:	32
7.2	Výpočet jízdních odporů	33
7.3	Výpočet energií rozjezdů a brždění	34
7.4	Příklad výpočtu jízdních energií	35
8	Optimalizace HP pro úsek trati Tábor-Písek	36
8.1	Souprava se dvěma přípojnými vozy ř. 043	36
8.2	Vůz 843 sólo	38
8.3	Volba akumulátoru el. energie	38
9	Porovnání jízdních režimů SP motorů	39
10	Závěr:	40

1 Vývoj motorových železničních vozů v ČR

1.1 Motorové vozy

Motorové vozy slouží „převážně“ pro dopravu osob.

Jejich spektrum použitelnosti je velmi široké od místních tratí, přes příměstskou dopravu až po dálkové rychlé vlaky.

Dnes jsou tyto vozy využívány na regionálních tratích, které nejsou elektrifikovány, což znemožňuje použití jednotek s elektrickou trakcí.

1.2 Historický vývoj motorových vozů

Historie motorových vozů na našich železnicích se začíná psát kolem roku 1922. V té době se začínala rozšiřovat autobusová doprava. Zastaralé lokálky, které navíc jezdili jen zřídka, nemohly konkurovat pohodlným a rychlým autobusům. Opravdovou krizi nastartovala úsporná opatření na prodělečných tratích v podobě smíšených vlaků. Tyto vlaky převážely jak osobní vagony s cestujícími, tak nákladní vagony. Dlouhé posunování ve stanicích se výrazně podepisovalo na jízdních dobách. A právě tehdy se začalo intenzivně pracovat na zkvalitnění osobní dopravy. Výsledkem byl první motorový vůz řady M120.001. Vychází ze svého hlavního konkurenta - autobusu.



Technická data:

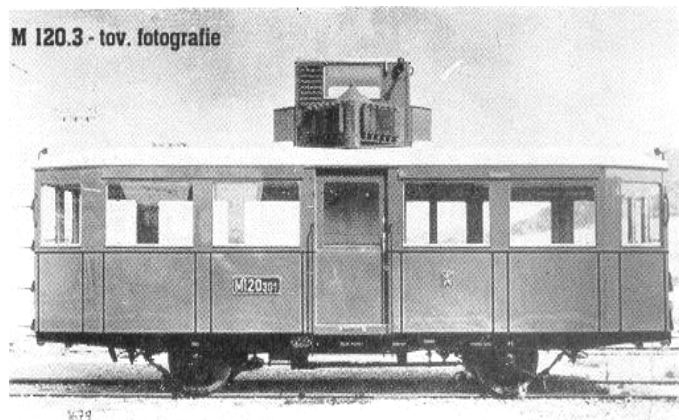
Výrobce: ČKD Praha, Škoda Plzeň
Rozvor: 4100 mm
Délka přes nárazníky: 8820 mm
Poč. míst k sedění: 29
Hmotnost obsazeného vozu: 10,7t
Nejvyšší rychlost: 50 km/h
Počet válců: 4
výkon: 55 HP
Přenos: mechanický, poč. převodů 3/1

obr. 001, M 120.001

Jednalo se o skříň určenou pro silniční autobus Praga NO. Vůz byl konstruován pro rychlost 50 km/h. Motor byl uložen jako u silniční verze na předsunutém místě s kapotou. Dveře pro nástup a výstup byly po obou stranách stanoviště řidiče. Vůz neměl přechodové můstky. Stanoviště strojvedoucího se nacházelo v předu mezi vstupními dveřmi. Počet míst pro cestující byl 29. Vůz neměl klasické nárazníky, ale provizorní manipulační spřahadlo. Pro pohon byl použit čtyřválcový autobusový benzínový motor. Vůz M120.001 zůstal pouze prototypem.

V letech 1928 až 1930 se vyráběly motorové vozy řady M 120.3 v celkovém počtu 27 kusů. Vyrobila je všechny Tatra Kopřivnice. Byly prvním představitelem

originální konstrukce s věžovým stanovištěm strojvedoucího. Jejich konstrukční rychlost byla 60 km/h.



obr. 002, M 120.3

V roce 1930 zahájila vývoj motorového vozu Škoda Plzeň. Jednalo se o zcela odlišnou konstrukci od Tatry. Tato koncepce se užívá v podstatě dodnes. Řada M 130.1 byla vyráběna v letech 1932 až 1939. Celkem bylo vyrobeno 113 vozů ve dvou typových sériích. Motor byl řadový šestiválec na benzinovou směs, chlazený vodou. Skříň u prvních 60 vozů byla s příhradovým rámem a středním vstupem. Druhá série již měla uspořádání s dveřmi na představcích. Mechanický přenos Škoda spočíval v použití automobilové převodovky s posuvnými koly. Prvních 25 vozů mělo reverzaci v převodovce. Ostatní již na nápravě.



obr. 003, M 130.1

Po dobrých zkušenostech s motorovými vozy, díky kterým vzrostl zájem o přepravu po železnici, vzrostly také nároky na jejich výkon, kapacitu a spolehlivost. To byl důvod vzniku nejrůznějších typů vozů se dvěma agregáty na dvou otočných podvozcích (M 220.2, M 221.2, atd.), s elektrickým přenosem (M 132, 131.0, M 230.1, atd.) a nejrůznějších odvozenin.

30. léta, která probíhala ve znamení ostré konkurence mezi silniční a železniční dopravou. Bylo potřeba motorových vozů s konstrukční rychlostí 100 km/h, ke kterým by bylo možno připojit i více vozů. To byl podnět ke vzniku řady M 273 tzv. „Modrých šípů“ z Královopolské. Šlo o vozy s elektrickým přenosem výkonu a

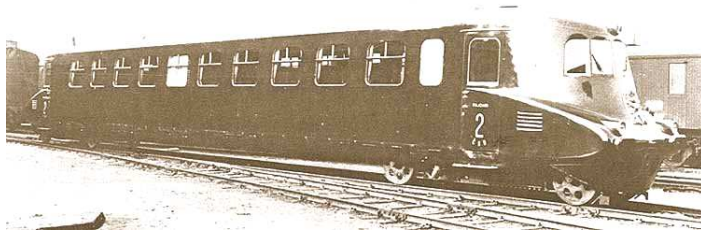
Technická data:

výrobce: Tatra Kopřivnice
Rozvor: 4220 mm
Délka přes nárazníky: 9200mm
Počet míst k sedění: 36
Hmotnost obsazeného vozu: 36t
Nejvyšší rychlost: 54 km/h
Počet válců: 6
Výkon: 65 HP
Přenos výkonu: mechanický

Technická data :

Výrobce : Škoda Plzeň
Rozvor : 5600 mm
Délka přes nárazníky : 11050 mm
Počet míst k sezení : 38
Váha obsazeného vozu : 17,5 t
Nejvyšší rychlost : 65 km/h
Motor - počet válců : 6
- výkon : 120 HP
- pohonná směs : lihobenzinová
- chlazení : vodní
Přenos výkonu : mechanický

trakčním motorem v každém podvozku s celkovým výkonem 400 HP a počtem míst k sedění 81. „Modré šípy“ se osvědčily a tak vzniklo v továrně Tatra Kopřivnice vozidlo dosud nevidané, „Slovenská strela“.



obr. 004, M 290.0

Slovenská strela je motorový vůz, který proslavil jak jejího výrobce Tatra Kopřivnice, tak ČSD. Na svou dobu (rok 1936) velmi propracovaný aerodynamický tvar signalizoval, jakými rychlostmi se „Strela“ pohybovala. Uspořádání pohonu: 1A A1. Každý ze dvou podvozků byl vybaven benzinovým agregátem a elektromechanickým pohonem podle patentu ing. Josefa Sousedíka. Benzinový motor poháněl rotor hlavního generátoru, stator byl spojen s nápravovou převodovkou jednoho ze dvou dvojkolí. Indukovaným napětím vznikajícím rozdílem otáček mezi rotorem a statorem generátoru byly poháněny přidavné trakční motory, které byly pevným mechanickým převodem spojeny s rotorem generátoru.

Při rychlosti přibližně 85km/h se pomocí spojky spojily rotor se statorem generátoru, vypnulo se buzení obou el. strojů a ty dále fungovaly pouze jako setrvačníky. Přenos byl potom čistě mechanický. Tento typ elektromechanického přenosu vykazoval účinnost 85 – 95%.

„Strela“ měla kapacitu 72 míst a byla nasazena na trať Praha-Bratislava, kterou projela za 4h 51min. Dnešní rychlíky tuto vzdálenost překonávají nejméně za 5h 10min! Maximální rychlost byla naměřena 148 km/h. zrychlení z 0 na 130 za 86 sec.

V té době ČSD přepravili denně 800 000 cestujících, takže jeden pár prestižních vlaků se 72 místy k sedění měl především propagační význam.

Po Slovenské strele, ČKD vyrobila vůz, který byl designově podobný. Měl však karoserii ze slitiny hliníku kvůli odlehčení, dva naftové agregáty a elektrický přenos výkonu. Zkušební jízda dopadla dobře, do provozu však Stříbrný šíp uveden nebyl z důvodu vzniku protektorátu.



obr. 005, M 131

Technická data :

Výrobce : Tatra Kopřivnice /

Vagónka Studénka

Rozvor : 6500 mm

Délka přes nárazníky : 12100
mm

Počet míst k sezení : 48

Váha obsazeného vozu : 20,9 t

Nejvyšší rychlost : 60 km/h

Motor - počet válců : 12

- výkon : 155 HP

- pohonná směs : nafta

- chlazení : vzduchové

Přenos výkonu : mechanický

Výsledkem snahy sjednotit rozšířený park vozů předválečných byl vůz s označením M 131 továrny Tatra Kopřivnice. Základem byl naftový motor Tatra T 301, který vycházel z osvědčeného motoru T111. Mechanický přenos zprostředkovala čtyřstupňová plně synchronizovaná převodovka Mylius. Konstrukce skříně byla celokovová s osmiúhelníkovým uspořádáním. Nástupní prostory byly na představicích, kde se také nacházela stanoviště strojvedoucího. Oddíl pro cestující byl jeden o uspořádání lavic 1 + 4. První vůz vyjel na trať v létě 1948 a do roku 1956 bylo vyrobeno 549 vozů.



obr. 006, M 262

Technická data :

Výrobce : Královopolská str./Vagónka
Studénka/ČKD
Rozvor : 16410 mm
Délka přes nárazníky : 21196 mm
Váha obsazeného vozu : 48,6 t
Nejvyšší rychlost : 90 km/h
Motor - počet válců : 12
- výkon : 410 HP
- pohonná směs : nafta motorová
- chlazení : vodní
Přenos výkonu : elektrický ČKD

V roce 1945 byl dán návrh na výrobu motorového vozu s elektrickým přenosem výkonu. Základem hnacího agregátu motorového vozu byl vodou chlazený dvanáctiválec s válci do V. Motor byl uložen v rámu zadního podvozku společně s trakčním dynamem. Hnací elektromotory byly v rámu předního podvozku, který měl kratší rozvor. První vůz byl dán do provozu v roce 1949 s označením M262. Celkem bylo vyrobeno 250 vozů, ale na koleje se jich dostalo pouze 238. Posledních 12 vozů shořelo při požáru závodu. Počet míst k sezení byl 56.



obr. 007, M 240

Technická data :

Výrobce : Vagónka Studénka
Rozvor : 14930 mm
Délka přes nárazníky : 18500 mm
Počet míst k sezení : 56
Váha obsazeného vozu : 38,0 t
Nejvyšší rychlost : 70 km/h
Motor - počet válců : 12
- výkon : 280 HP
- pohonná směs : nafta motorová
- chlazení : vzduchové
Přenos výkonu : hydraulický

V roce 1959 se objevily na trati vozy s označením M240. Vyrobila je Vagónka studénka. K přenosu výkonu byla vybrána hydrodynamická spojka se třemi měniči, což mělo za následek pomalejší rozjezdy. Jako novinka zde byla použita samonosná karoserie. Pro cestující poskytovaly značné pohodlí. Dva oddíly s koženkovými sedačkami předběhly svou dobu.



obr. 008, M 286

Motorový vůz řady M286.0 je čtyřnápravový motorový vůz s hydrodynamickým přenosem výkonu, který má jeden hnací a jeden běžný podvozek. Vozová skříň samonosné konstrukce je vyrobena z lisovaných ocelových profilů a oplášťovaná plechy tloušťky 1,8 mm. Je uložena na dvou dvounápravových podvozcích, z nichž hnací je pod strojovnou a běžný pod oddílem pro cestující. Je to vůz určený především pro hlavní tratě.



obr. 009, V 296

Protože v druhé polovině 60. let byly maďarské rychlíkové motorové jednotky Ganz již zastaralé, hledala se za ně optimální náhrada. Jako výchozí typ nového vozu posloužil vůz řady M286. V M296 je opět samonosná konstrukce skříňe, hydraulický přenos výkonu atd. Je zde ale několik vylepšení pro dálkové tratě jako např. automatický regulátor jízdy, tlačítkový brzdič atd.



obr. 010, M 152

Technická data :

Výrobce Vagónka Tatra Studénka
Délka přes nárazníky 24 790 mm
Vzdálenost otočných čepů 16 900 mm
Rozvor podvozku 2 300 mm
Přenos výkonu hydromechanický
Počet míst k sezení 48
Počet míst k stání 60
Maximální rychlost 110 km/h
Jmenovitý výkon 515 kW /700 HP/

Technická data :

Výrobce : Vagónka Studénka
Rozvor : 17300 mm
Délka přes nárazníky : 24400 mm
Počet míst k sezení : 66
Váha obsazeného vozu : 52 t
Nejvyšší rychlost : 100 km/h
Motor - počet válců : 12
- výkon : 410 HP
- pohonná směs : nafta
- chlazení : vodní
Přenos výkonu : hydraulický

Technická data :

Výrobce : Vagónka Studénka
Rozvor : 8000 mm
Délka přes nárazníky : 12900 mm
Počet míst k sezení : 56
Váha obsazeného vozu : 19,2 t
Nejvyšší rychlost : 80 km/h
Motor - počet válců : 6
- výkon : 210 HP
- pohonná směs : nafta motorová
- chlazení : vodní
Přenos výkonu : hydro-mechanický

V roce 1971 byl zahájen vývoj nového vozu, který měl nahradit dosavadní vozy řady M131 na regionálních tratích. Po úspěšných testech byl v roce 1976 uveden do sériové výroby a do roku 1984 bylo vyrobeno 678 kusů. Samonosná celokovová konstrukce je usazena na dvou jednonápravových podvozcích. Z nichž jedna náprava je hnací, druhá běžná. Přenos výkonu je hydromechanický. Dnes tvoří páteř místní a regionální dopravy.



obr. 011, M 842

Technická data :

Výrobce Vagónka Studénka
Moravskoslezská vagónka Studénka
Uspořádání dvojkolí (1A)´ (A1)´
Maximální rychlost 100 km/h
Jmenovitý výkon 2 x 212kW
Přenos výkonu hydromechanický
Spalovací motory LIAZ M 1.2 ML 640 F
Hmotnost vystrojeného vozu ve službě 43 t
Délka přes nárazníky 24 700 mm
Vzdálenost otočných čepů 17 300 mm
Rozvor podvozků 2 300 mm
Počet míst k sezení na pevných sedadlech 64
Počet míst na sklopných sedadlech 16

V polovině sedmdesátých let se rozběhl velkorysý program obnovy parku motorových vozů ČSD. Protože po vyrobení posledního vozu M296 došlo na mnoho let k přerušení kontinuity vývoje čtyřnápravových motorových vozů, bylo třeba vyjít z dostupných a sériově zastížitelných komponentů. K pohonu slouží dva automobilové motory Liaz, hydromechanická převodovka Praga, později nahrazena převodovkou Allison a nápravová převodovka shodná s řadou M152.



obr. 012, M 843

Technická data :

Výrobce Moravskoslezská vagónka Studénka
Roky výroby 1995 – 1997
Uspořádání dvojkolí Bo´Bo´
Maximální rychlost 110 km/h
Jmenovitý výkon 2 x 300 kW
Přenos výkonu elektrický střídavě stejnosměrný
Spalovací motor LIAZ M 1.2 C ML 640 D
Hmotnost ve službě 56 t
Délka přes nárazníky 25 200 mm
Vzdálenost otočných čepů 17 300 mm
Rozvor podvozku 2 300 mm
Minimální poloměr oblouku 150 mm

Po uvedení typu 842 do provozu se ČD zdál hydromechanický přenos zastaralý, což dalo podnět ke vzniku řady 843 s elektrickým střídavě stejnosměrným přenosem výkonu. Jinak se tyto dva vozy nijak neliší.



obr. 013, M 954

Technická data :

Výrobce rekonstrukce PARS DMN
Šumperk, PARS nova Šumperk
Uspořádání dvojkolí B'2'
Maximální rychlost 120 km/h
Jmenovitý výkon 588 kW
Přenos výkonu hydrodynamický
Spalovací motor Caterpillar 3412 E DI-TA
Hmotnost ve službě 50,3 t
Hmotnost obsazeného vozu 56,5 t
Maximální hmotnost na nápravu 17,3 t
Délka přes nárazníky 24 790 mm
Vzdálenost otočných čepů 17 200 mm
Rozvor podvozku 2 400 mm
Počet míst k sezení 48

Vzhledem k finanční situaci ČD je zřejmé, že při cenách nových železničních vozidel nepřipadá v úvahu kompletní jednorázová obměna parku motorových vozů a tak přichází na řadu modernizace vozů M296. Poruchové motory jsou vyměněny za nové Caterpillary. Modernizaci neuniklo ani vnitřní vybavení a řídicí stanoviště. Vše je v souladu s moderními standardy.



obr. 014, M 812

Technická data :

Výrobce : PARS nova
Rozvor : 8000 mm
Délka přes nárazníky : 12900 mm
Počet míst k sezení : 56
Váha obsazeného vozu : 19,2 t
Nejvyšší rychlost : 80 km/h
Motor - počet válců : 6
- výkon : 325 HP
- pohonná směs : nafta motorová
- chlazení : vodní
Přenos výkonu : hydro-mechanický

Modernizaci neunikl ani vůz řady 152 (dnes 810). Když opomeneme řadu 811, u které byl modernizován pouze strojový spodek k zajištění vyšší provozní spolehlivosti, je vůz 812 kompletně zrekonstruovaný včetně vnitřního vybavení, řídicích prvků a vnějšího designu.

1.3 Rozdělení motorových vozů:

1.3.1 Podle počtu náprav na:

dvounápravové - rám je pevně spojen s dvěma dvojkolími

čtyřnápravové - v rámu jsou uloženy dva podvozky na otočném čepu.
V každém podvozku jsou dvě dvojkolí.

1.3.2 Podle uspořádání pohonu

Uspořádáním pohonu rozumíme konstrukční provedení podvozku tj počet a umístění náprav s určením, které z nich jsou hnané.

Princip označování:

Počet hnaných dvojkolí, tedy dvojkolí, která nevyvíjí tažnou sílu se označuje arabskou číslicí, jejíž hodnota určuje počet takových dvojkolí vztažených na jeden podvozek

např:

- 1 jedno hnané dvojkolí
- 2 dvě za sebou následující hnaná dvojkolí atd.

Hnací dvojkolí, tedy dvojkolí, která vyvíjí tažnou sílu se označují velkými písmeny, které určují počet takových dvojkolí vztažených na jeden podvozek. Bez indexu se označují dvojkolí, která jsou spojena mechanickým převodem, takže hnací síla je přivedena pouze k jednomu z dvojkolí.

- A jedno hnací dvojkolí
- B dvě hnací dvojkolí
- C tři hnací dvojkolí atd.

V případě vlastního samostatného pohonu každého dvojkolí (tedy tažná síla je přivedena na každé dvojkolí zvlášť) je k písmenu přiřazen index 0 (nula), s ohledem na techniku zápisu je tedy např.:

- Bo dvě za sebou následující hnací dvojkolí s vlastním pohonem
- Co tři za sebou následující hnací dvojkolí s vlastním pohonem atd.

příklady možných provedení pohonu pro motorové vozy:

- 1A
- '1A' 'A1'
- B' 2'
- ...atd

1.3.3 Podle druhu přenosu výkonu na přenos:

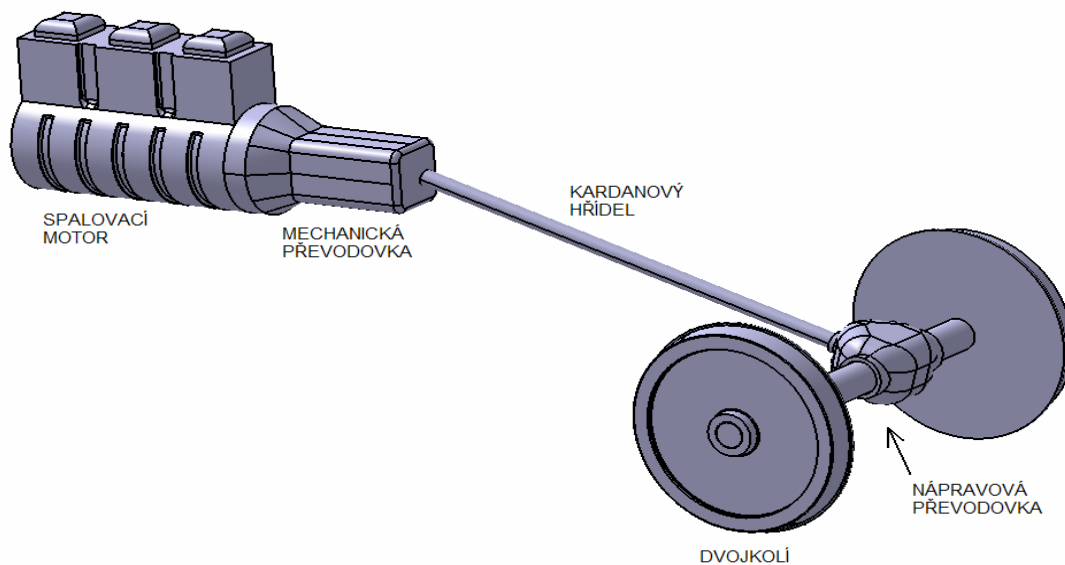
- a) mechanický
- b) elektrický
- c) hydraulický
- d) hybridní
- e) kombinace předchozích (elektromechanický, hydromechanický,...)

Přenos výkonu je způsob přenášení točivého momentu z klikového hřídele motoru na hnací nápravu

1.3.4 Principy jednotlivých přenosů:

1.3.4.1 Mechanický

je nejjednodušší přenos výkonu, který je určen pro nižší výkony. Trakční soustrojí tvoří spalovací motor, který je spojen s mechanickou převodovkou. Ta je řazena přímo, nebo automaticky.



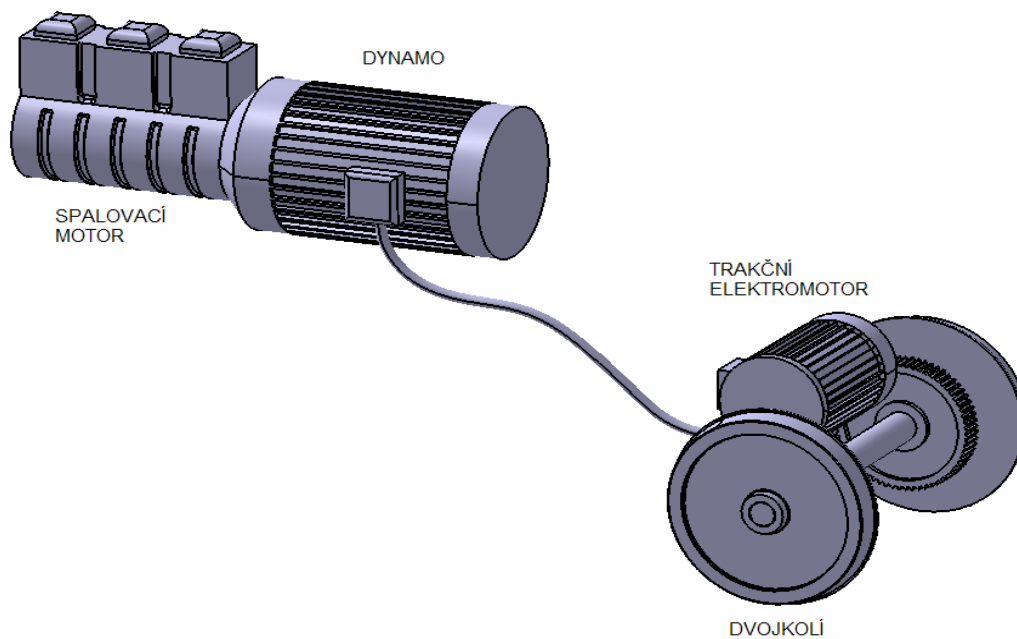
obr. 015

1.3.4.2 Elektrický

Jedná se o pokrokové řešení přenosu s určením pro velké výkony.

1.3.4.2.1 Stejnosměrný

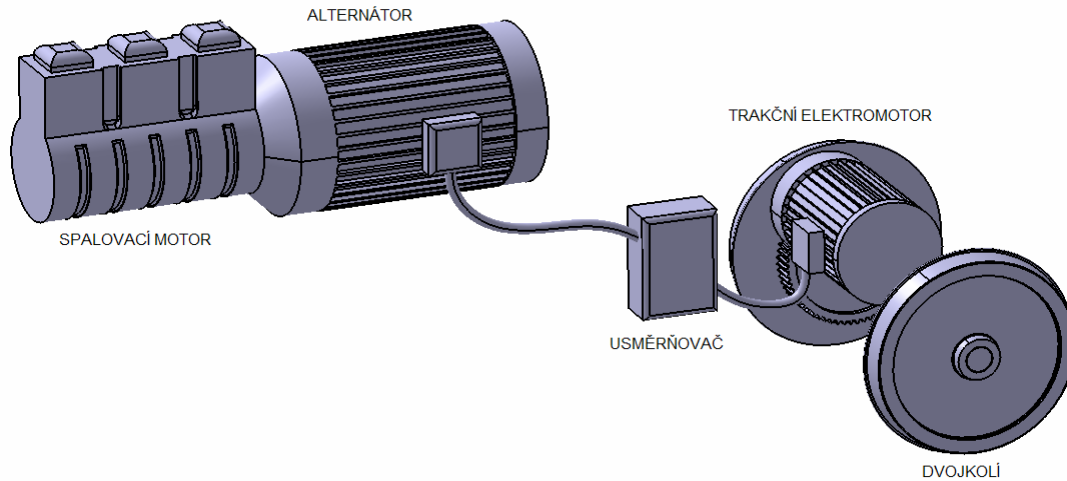
Trakční soustrojí tvoří spalovací motor, který je spojen s trakčním generátorem. Ten vyrábí el. proud pro trakční elektromotory uložené v podvozcích.



obr. 016

1.3.4.2 Střídavě stejnosměrný

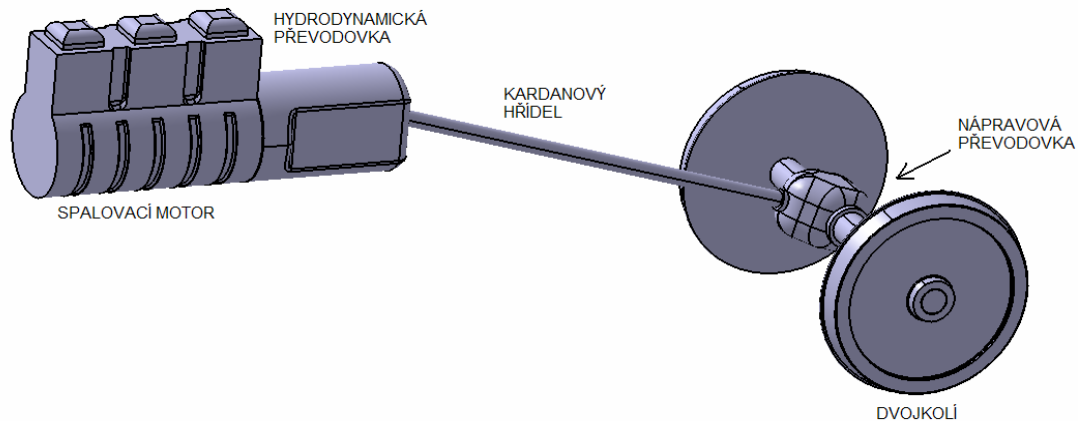
je principiálně stejný, jako elektrický stejnosměrný přenos. Rozdíl je v trakčním generátoru, který u střídavě-stojnosměrného přenosu tvoří oproti dynamu alternátor střídavého napětí. Střídavé napětí se po výstupu z alternátoru musí usměrnit v trakčním usměrňovači, ze kterého se přivádí ke stejnosměrným trakčním motorům v podvozku.



obr. 017

1.3.4.3 Hydrodynamický

je vhodný pro přenos větších výkonů. Podobá se mechanickému přenosu s tím, že soustrojí místo mechanické převodovky obsahuje převodovku hydrodynamickou (čerpadlo+hydraulický stroj). K přenosu výkonu se využívá kinetické energie kapaliny.

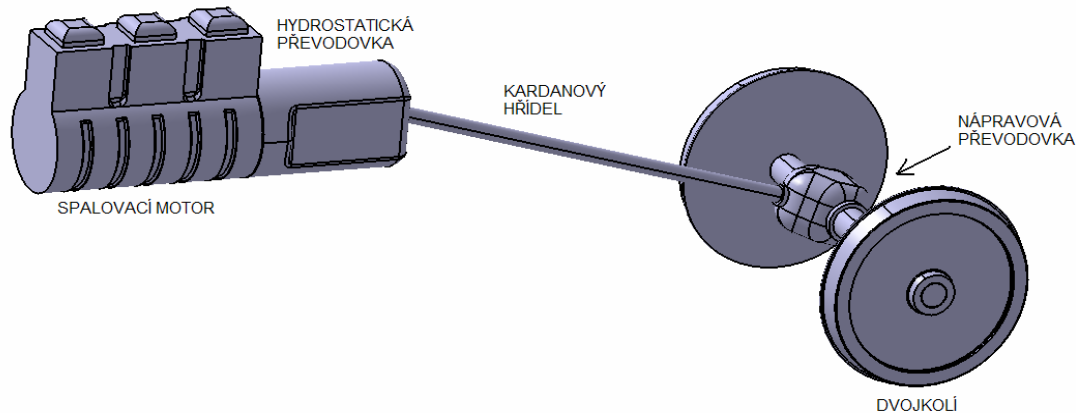


obr. 018

1.3.4.4 Hydrostatický

podobně jako hydrodynamický přenos je vhodný pro větší výkony. Podobá se rovněž mechanickému přenosu s tím, že soustrojí místo mechanické

převodovky obsahuje převodovku hydrostatickou (čerpadlo+hydraulický stroj). K přenosu výkonu se ovšem využívá tlakové (statické) energie kapaliny.



obr. 019

1.3.4.5 Hybridní

Hybridní pohon je kombinací spalovacího motoru a akumulátoru energie, který umožní uložit pohybovou energii vozidla při brždění a opět tuto energii použít pro pohon vozidla. Z principu vyplývá, že pro pohon můžeme použít spalovací motor s nižším jmenovitým výkonem než je v provozu zapotřebí.

Jako akumulátor energie můžeme použít:

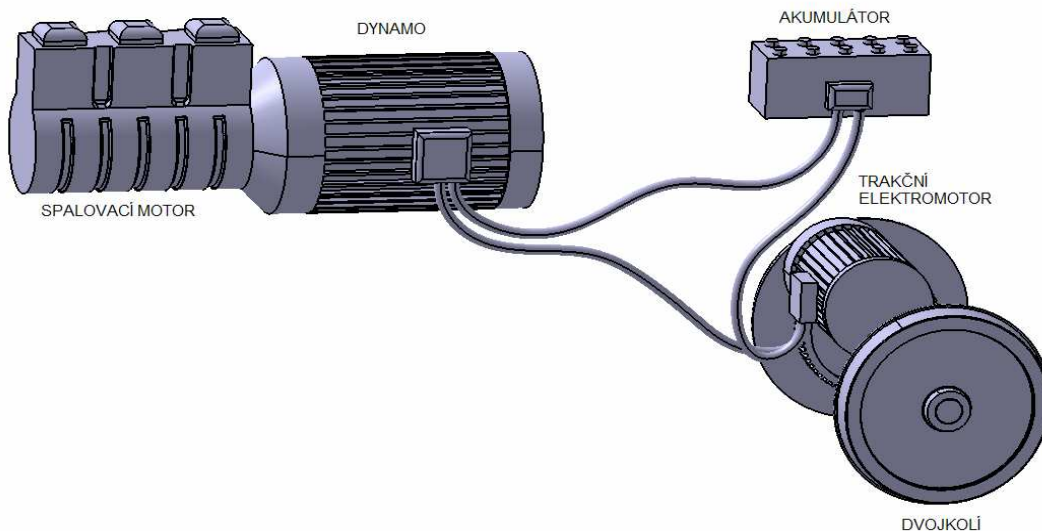
- akumulátorové baterie
energie brždění je v elektromotorech přeměněna na energii elektrickou a po úpravě v měniči slouží k nabíjení akumulátoru
- setrvačníky
pohybová energie vozidla je při brždění přeměněna v pohybovou energii setrvačníku a takto získaná pohybová energie je opět použita při rozjezdu vozidla. Otáčky setrvačníku se pohybují v řádu desetitisíc, proto je tato alternativa velmi technologicky náročná.
- super kondenzátory
podobně jako u akumulátorů je energie při brždění přeměněna na elektrickou, která dobíjí super kondenzátory. Ty mají tu vlastnost, že jejich nabití probíhá s minimálními ztrátami oproti akumulátorům avšak doba „uskladnění“ energie je omezená.
- zásobníky tlakového vzduchu
brzdná energie je pomocí např. kompresoru přeměněna na tlakovou a uložena do tlakové nádoby. Z nádoby je tlaková energie využita k pohonu motoru na stlačený vzduch, který pomáhá při rozjezdu vozidla

Hybridní pohony lze na základě dispozice spalovacího motoru a elektromotoru rozdělit do dvou kategorií.

- sériové uspořádání
- paralelní uspořádání

1.3.4.5.1 Sériové uspořádání

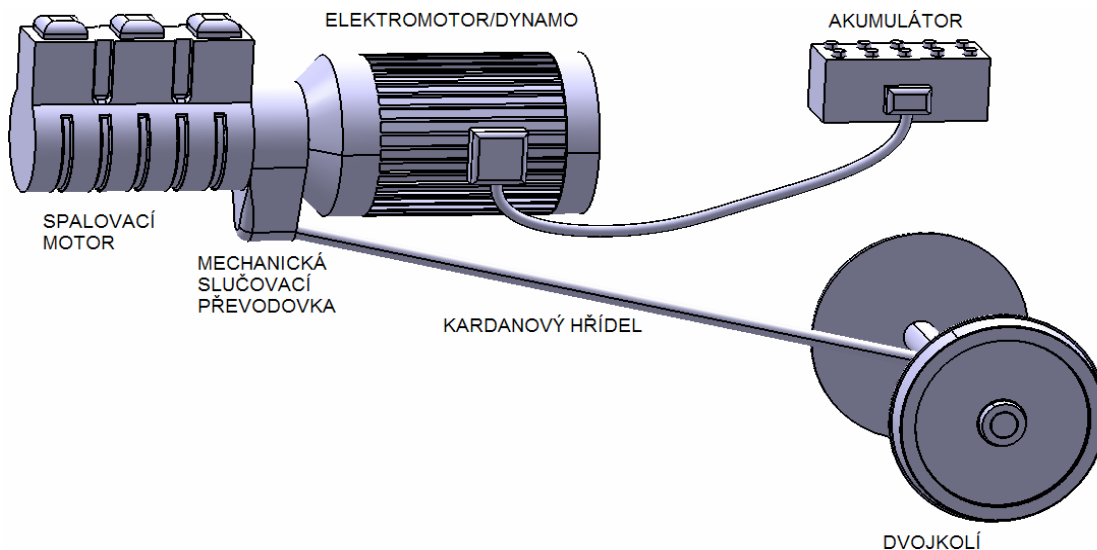
U sériového uspořádání pohání spalovací motor generátor el. energie, který dobíjí baterie. Baterie slouží k pohonu elektromotoru. K pohonu vozidla se tedy používá pouze elektromotor.



obr. 020

1.3.4.5.2 Paralelní uspořádání

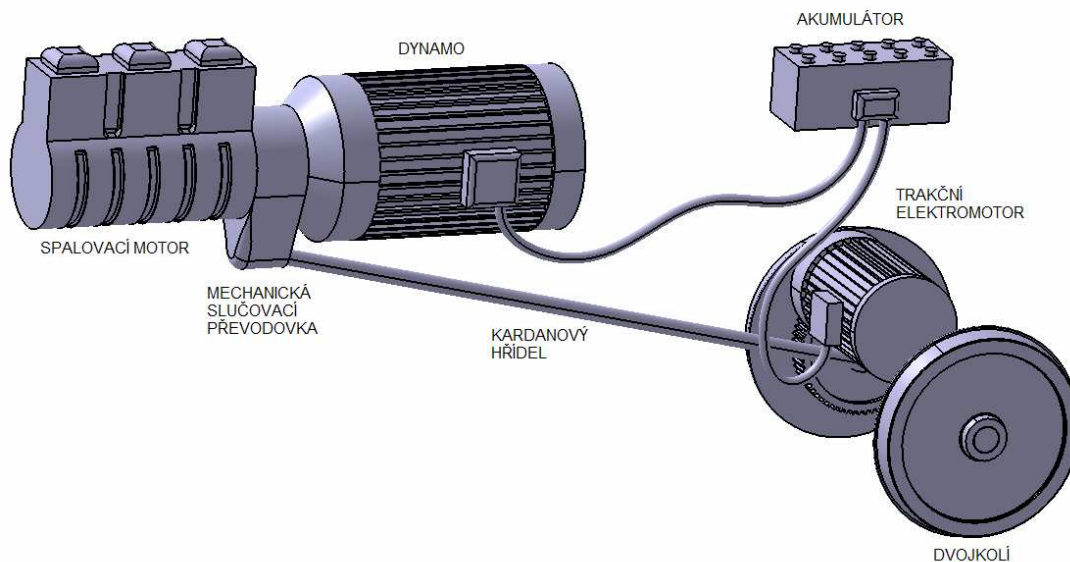
U paralelního uspořádání spalovací motor pohání vozidlo a zároveň roztáčí generátor el. energie, který dobíjí baterie.



obr. 023

U obou typů hybridního pohonu se k pohonu vozu dá využít pouze baterií, spalovacího motoru nebo současného chodu spalovacího motoru a elektromotoru. U paralelního uspořádání pohonu lze použít méně výkonný spalovací motor i elektromotor. „U železničních vozů takto dosáhneme efektivnějšího využití výkonu spalovacího motoru a tím snížení spotřeby paliva o 20-30%¹.“

1.3.4.6 Kombinace viz předchozí



obr. 024

1.4 Někteří výrobci motorových vozů:

Škoda Plzeň
ČKD
Vagónka Studénka
Královopolské strojírny

¹ Peter Palko, Hybridný pohon ako jedna z alternatív posunovacích rušňov

2 Hybridní pohon v železniční dopravě

„Po provedení podrobné analýzy provozu železničních vozidel byly zjištěny 3 nejzávažnější skutečnosti nepříznivě ovlivňující energetickou bilanci: ²“

- vysoká spotřeba paliva spalovacího motoru při chodu naprázdno
- vysoká spotřeba paliva při zatížení na dílčích výkonech
- ztráty pohybové energie při brzdění třecími brzdami

Řešení těchto nepříznivých jevů: Pro snížení **spotřeby** paliva spalovacího motoru a při zatížení na dílčích výkonech je vhodné použít motor o nižším jmenovitém výkonu. Výkon původního agregátu, který je potřeba dodržet s ohledem na konstrukci a účel vozu je dorovnán přídatným zdrojem – akumulátorem el. energie. **Ztráty** pohybové energie při brzdění třecími silami tedy přeměnou kinetické energie na tepelnou jsou u hybridního pohonu eliminovány elektrodynamickou brzdou s rekuperací, která kinetickou energii přemění na elektrickou pomocí trakčních motorů a umožňuje ji uložit v akumulátoru el. energie. S tím je spojeno minimální opotřebení (=minimalizace nákladů) třecích brzd, které jsou v provozu aktivní pouze při dobržďování z cca 3 km/h kdy přestává být účinná elektrodynamická brzda z důvodu malých otáček rotoru trakčního elektromotoru.

Effektivnějším využitím dieselu klesá spotřeba paliva, stejně tak klesají emise. Chceme-li se však zamyslet nad ekologií hybridního pohonu jako celku, nesmíme zapomínat na obtížnou likvidaci akumulátorů el. energie a vyšší energetickou náročnost výroby hybridního pohonu.

2.1 Použití hybridního pohonu pro motorové vozy

„Hybridní pohony můžeme rozdělit do tří skupin v závislosti na vhodnosti použití pro motorové vozy. ³“

a) Čistě hybridní pohon

- pohon je složen z pohonu spalovacím motorem (motor+převodovka) a z pohonu elektromotorem (s akumulátorem). Při jízdě je možné volit mezi jednotlivými pohony. Nyní se upřednostňuje uspořádání s hlavním elektromotorem podporovaným při rozjezdu a zrychlení spalovacím motorem. Tato tzv. „Mild hybrid“ koncepce umožňuje použití elektromotoru o výkonu cca 25% nižším než u spalovacího motoru. Tato koncepce je vhodná především pro benzínové motory osobních automobilů, pro železniční dopravu je nevhodný.

b) diesel-elektrický pohon se superkondenzátory

- Hlavním pohonem je vznětový motor s elektrickým přenosem, superkondenzátory se používají pro krátkodobou akumulaci rekuperované energie, která se využívá pro podporu spalovacího motoru při rozjezdu. Tento způsob přináší 15% úspory paliva. Pro železniční dopravu je však také nevhodný z důvodu nižší frekvence zastávek než např. u autobusů MHD.

² Železniční doprava a logistika 3/2006

³ Vědeckotechnický sborník ČD č. 20/2005

c) akumulátory+dieselektrický přenos výkonu

- Toto řešení používá jako primárního zdroje energie akumulátor, který dodává elektrickou energii trakčním elektromotorům. Spalovací motor s generátorem slouží pro dobíjení akumulátoru, nebo pro zvýšení výkonu při rozjezdu. Akumulátor je dobíjen také energií získanou rekuperací při brzdění. Toto řešení je vhodné pro železniční dopravu. Výhody jsou zejména v úspoře paliva, odstranění emisí při provozu v uzavřených prostorech a ve snížení hlukosti.

3 Alternativní paliva⁴

Alternativní paliva a pohony můžeme rozdělit do několika skupin z hlediska nutných investic, využití obnovitelných zdrojů atd.

3.1 Minimální počáteční investice

Obohacení stávajících paliv o aditiva na bázi rostlinné složky, která je možno použít v současných motorech bez úprav. Snižování emisí starších vozidel (filtry pevných částic atd.)

3.2 Nové pohony

Pohony, které nelze získat bez investic do dopravních prostředků a plyná paliva, která je sice možno spalovat po minimálních úpravách v dnešních motorech, ale vyžadují rozsáhlé investice do zařízení na skladování a distribuci těchto paliv. Aplikace plyných paliv na železnici je velmi obtížná vzhledem k bezpečnosti provozu, proto se nevyužívá.

3.3 Biopaliva

Velmi populární je v dnešní době otázka obnovitelných zdrojů. Veškerá dnešní doprava využívá fosilní paliva ať už přímo (benzín, nafta) nebo nepřímo (využití el. energie vyrobené v elektrárnách spalujících fosilní paliva). Za ideální palivo je považován vodík, umožňuje používání stejných trakčních mechanismů jako dnes. Vývoj motoru spalujícího vodík se však odhaduje na 30 až 50 let. Tuto dobu je třeba překlenout využitím alternativních paliv abychom dosáhli snížení využívání paliv fosilních.

Paliva pro zážehové i vznětové motory lze vyrábět z biomasy. Metylester řepkového oleje vyrobený ze semen řepky olejné (bionafta) je používán již mnoho let. Při výrobě paliv z biomasy je důležité zejména to, že biomasa je produkována pomocí sluneční energie z CO_2 a vody. Nejenže je tedy obnovitelným zdrojem energie, z hlediska CO_2 je neutrální, tzn. že při jejich spalování se uvolní jen tolik CO_2 kolik ho bylo přijato z rostlin. Firma CHOREN vyvinula metodu "Carbo-V" na získávání tzv. syntézních plynů (směs CO a H_2) z biomasy. Z těchto plynů se dále získávají syntetická paliva-metanol a zejména čistá paliva pro zážehové a vznětové motory. Tato paliva neobsahují síru ani aromatické uhlovodíky. Při spalování syntetické nafty se vytváří až o 50% méně pevných částic a až o 15% méně NO_x než při spalování běžné nafty. Výhodou biopaliv je to, že se dají pěstovat. Metoda "Carbo-V" je použitelná na rostliny tvořící rychle velké množství rostlinné hmoty (rychle rostoucí stromy, luštěniny, traviny). Nevýhodou biopaliv je jejich horší vznítitelnost při spalování. Použití kapalných biopaliv v železniční dopravě je realizovatelné bez větších obtíží, pouze s přihlédnutím ke skladování a výdeji biopaliva a úpravě motorů pro jeho spalování.

⁴ Vědeckotechnický sborník ČD č. 20/2005

4 Rozbor vhodnosti použití vozu k přestavbě

4.1 Hledisko principu hybridního pohonu

Při rozboru vhodnosti použití vozu k přestavbě se v první řadě musíme zamyslet nad vlastním principem hybridního pohonu, který je vhodný pro motorové vozy. Jde o zvláštní druh elektrického přenosu výkonu, který při elektrodynamickém brzdění využívá kinetickou energii vozu k výrobě el. energie přepnutím trakčních elektromotorů do režimu generátoru. Vyrobený el. proud je použit k nabíjení akumulátorů. Při potřebě vyššího výkonu např. při rozjezdu je el. energie z akumulátorů použita jako přídatný zdroj pro pohon trakčních elektromotorů. Z principu hybridního pohonu nám tedy plyne, že nejvhodnější k přestavbě je využití motorového vozu s diesel-elektrickým přenosem výkonu a elektrodynamickou brzdou.

Při elektrodynamickém brzdění je trakční motor využíván jako generátor el. proudu. Vyrobený el. proud je pak v odporových přeměňácích přeměněn na energii tepelnou. Po úpravě el. energie na výstupu z trakčních motorů lze odporník nahradit akumulátorem a brzdou energii tak uchovat. V případě potřeby většího výkonu než je jmenovitý výkon spalovacího motoru např. při rozjezdu je tuto energii možno použít jako přídatný zdroj el. energie pro pohon trakčních elektromotorů.

4.2 Hledisko použitelnosti stávající konstrukce

Při výběru konkrétního motorového vozu je třeba brát v úvahu možnosti využití prostoru pro umístění akumulátorů el. energie. Z tohoto hlediska výběru nejlépe vyhovuje motorový vůz řady 843 jelikož je opatřen dvěma trakčními agregáty, které tvoří spalovací motor LIAZ M1.2C a přírubově spojený alternátor. Vyjmutím jednoho trakčního agregátu získáme potřebný prostor pro umístění akumulátorů. Rozdíl hmotností motoru a baterií musí být dorovnán vhodným závažím (Za předpokladu, že trakční generátor je těžší) aby nebyla ovlivněna poloha těžiště motorového vozu a nebyly tak zhoršeny jízdní vlastnosti.

5 Vůz řady 843:



obr. 025

Obecně:

Je určen jako hnací vozidlo pro vnitrostátní dopravu na hlavních i vedlejších neelektrifikovaných tratích ČD, pro vedení lehkých osobních vlaků a lehkých rychlíků složených motorových vozů řady 843 a k nim určených vložených osobních vozů řady 043 a řídících vozů řady 943, přípojných vozů řady 010 a modernizovaných přípojných vozů řady 021.

5.1 Popis provozních režimů a přenosů energie:

jízda: Diesellový agregát roztáčí alternátor, který vyrábí střídavý el. proud. Ten je následně usměrněn v usměrňovači na stejnosměrný a využívá se k pohonu trakčních elektromotorů v podvozku. Regulace výkonu je plynulá. Regulují se otáčky motoru a hodnota budicího napětí cívek ve statoru alternátoru

brždění: vůz je vybaven elektrodynamickou brzdou. na všechny nápravy, je řešena jako spádová a umožňuje trvalé brždění. Při brždění je trakční elektromotor využit jako generátor pro výrobu elektrického proudu, který je dodáván do odporníku, kde je přeměněn v energii tepelnou, která je odchlazena pomocí ventilátorů.

Vůz je také vybaven samočinnou tlakovou brzdou.

5.2 Hnací soustrojí:

Hnací soustrojí tvoří dva shodné trakční agregáty uložené pod podlahou vozu. Každý trakční agregát sestává z naftového motoru přírubově spojeného s trakčním alternátorem. Každý trakční agregát napájí dva trakční motory přílehlého podvozku. Oba trakční agregáty mají společné palivové hospodářství a společnou skupinu pomocných strojů poháněných přes slučovací převodovku s volnoběžkami od předních konců obou naftových motorů. Chladiče chladicí kapaliny jsou umístěny pod podlahou vozu, jejich ventilátory jsou poháněny hydromotory.

Motorový vůz řady 843 je čtyřnápravový s dvěma shodnými trakčními agregáty pod podlahou, prostory se sníženými vstupy a dvěma průchozími kabinami strojvedoucího na čele vozu.

5.3 Technické údaje:

naftový motor:

Motor typ M 1,2 CML 640 D (722)	
Počet válců	6
Vrtání	130 mm
Zdvih	150 mm
Zdvihový objem	11.940 cm ³
Kompresní poměr	15,7 : 1
Pořadí vstříků	1-5-3-6-2-4
Jmenovitý výkon při 1.800 ot/min	300 kW
Max. točivý moment při 1.800 ot/min	1.592 Nm
měrná spotřeba paliva při P _j :	208 g/kWh
spotřeba paliva při volnoběhu:	1,35 kg/h

elektrická výzbroj:

zdrojová souprava (alternátor, usměrňovač, regulátor):

Provozní max. napětí:	60 Vss
Jmenovitý výkon při provozním napětí 60 Vss a ot. nad 850	23 kW
Jmenovitý výkon při provozním napětí 60 Vss a ot. voln. 650	18 kW

Trakční alternátor - jmenovité hodnoty:

Typ	TA 614 WO 1 s vestavěným budičem
Jmenovitý výkon (hodnoty po usměrnění)	260 kW
Max. napětí (hodnoty po usměrnění)	900 V
Jmenovitý proud trvalý	450 A
Proud max.	800 A
Provedení	dvojložiskové
Způsob chlazení	vlastní ventilace
Jmenovité otáčky	1.800 ot/min
Počet fází	3
Třída izolace	F

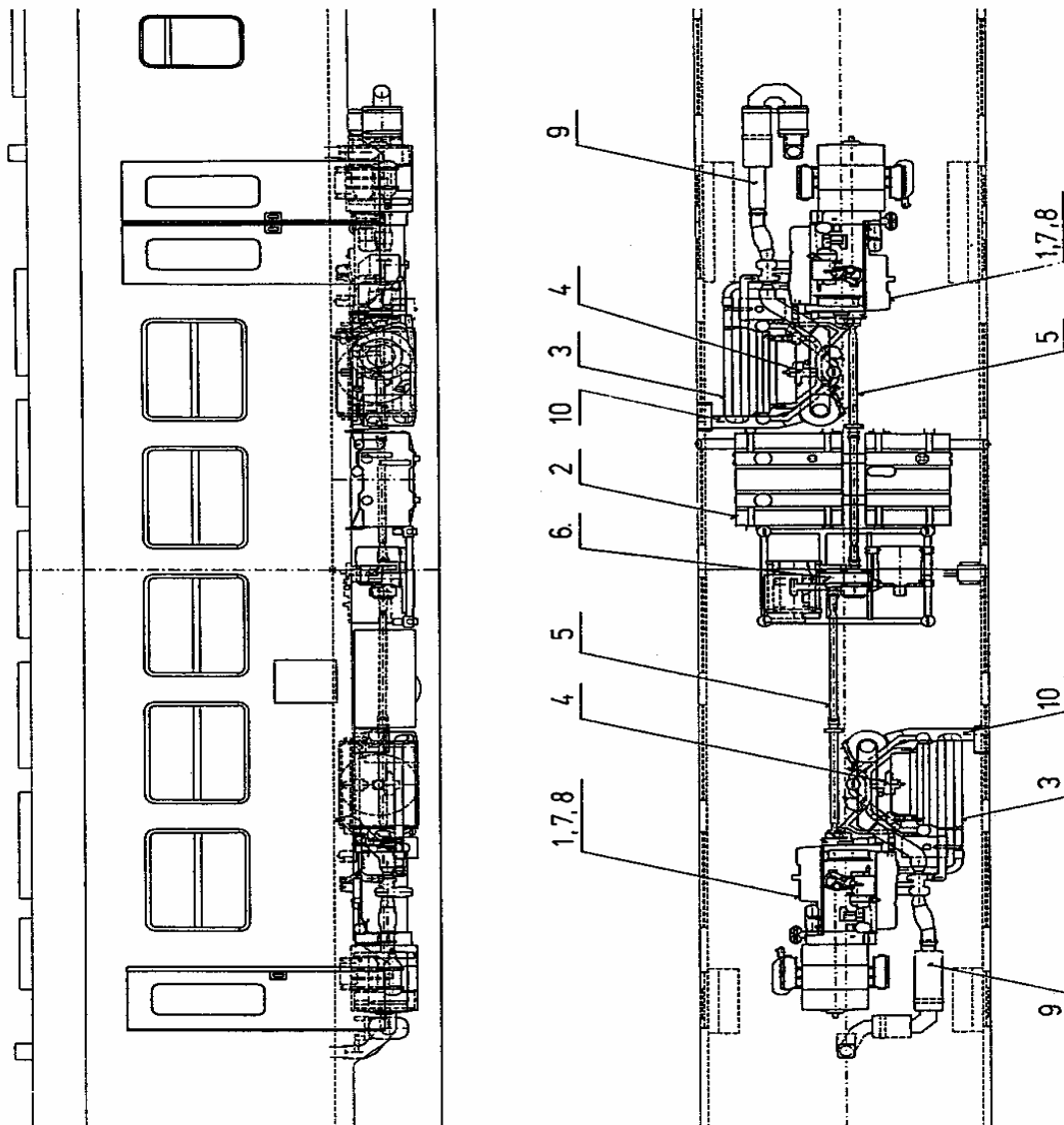
Trakční motor - jmenovité hodnoty:

Typ	TE 051 A 01
Jmenovitý příkon	130 kW
Max. napětí při jmenovitém příkonu	450 V
Jmenovitý proud	450 A
Třída izolace	H
Způsob chlazení	cizí

Trakční usměrňovač - jmenovité hodnoty:

Typ	PA - 28
Zapojení	3f polořízený můstek
Jmenovité napětí	900 V
Jmenovitý proud	450 A
Proud max.	800 A
Způsob chlazení	vzduchové náporové

Schéma uspořádání hnacího soustrojí vozu 843:



obr. 026, Řada 843, příručka

Legenda k obr. 026

1. motory s příslušenstvím
2. palivové hospodářství
3. vodní hospodářství
4. hydrostatický pohon ventilátoru
5. pohon pomocných strojů

6. pomocné stroje
7. systém ovládání
8. kontrolní a měřicí přístroje
9. výfukové potrubí
10. sání vzduchu

6 Rozbor vhodnosti uspořádání hybridního pohonu:

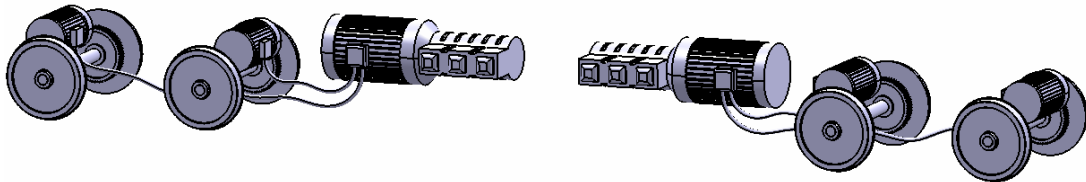
6.1 hledisko paralelní vs. seriové uspořádání

Realizace **paralelního** uspořádání HP u vozu řady 843: Diesellový agregát pohání nápravu dvojkolí a zároveň otáčí dynamem, které dobíjí akumulátor. Diesel je tak vytížen na plný výkon, což zlepšuje efektivitu provozu. Akumulátor lze rovněž dobíjet dynamem během výběhu. Při potřebě vyššího výkonu než je jmenovitý výkon spalovacího motoru je rozdíl výkonů dorovnán energií z akumulátoru jako přídatný zdroj el. energie do všech trakčních elektromotorů. Akumulátor lze dobíjet i elektrodynamickou brzdou. Nevhodné pro nutnost začlenění mechanického přenosu výkonu.

Realizace **seriového** uspořádání: Trakční agregát je využit jak k pohonu trakčních elektromotorů, tak k dobíjení akumulátoru. Tato koncepce umožňuje minimální zásah do stávající konstrukce motorového vozu.

6.2 Hledisko uspořádání pohonu pro jednotlivé podvozky

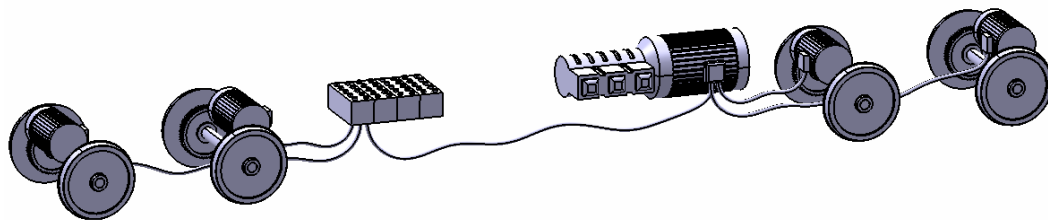
Stávající uspořádání Bo Bo:



Obr. 027

Uspořádání pohonu pro jednotlivé podvozky můžeme řešit dvěma způsoby:

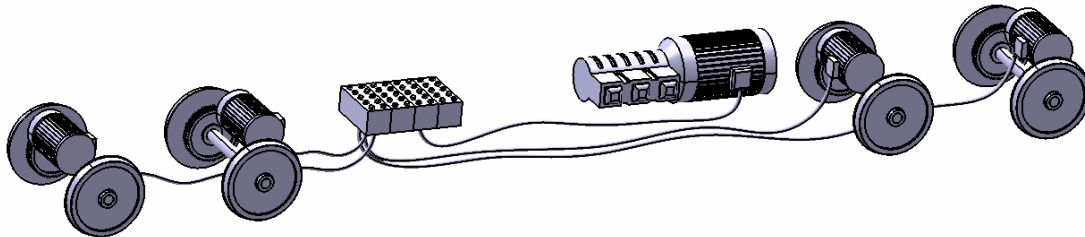
1) Pro jeden z podvozků zachováme stávající koncepci pohonu tzn.: trakční agregát dodává el. energii trakčním motorům v podvozku. Trakčním elektromotorům v druhém podvozku bude el. en. dodávána pouze z akumulátorů, které budou dobíjeny rekuperací při elektrodynamickém brzdění popř. přebytečným výkonem diesellového agregátu nebo při výběhu. Akumulátory zaujmou místo jednoho z trakčních agregátů.



Obr. 028

V tomto případě získáme výhodu méně komplikované přestavby stávající koncepce pohonu.

2) Dva trakční agregáty budou nahrazeny jedním, sériově zapojeným s akumulátorem. Všechny trakční elektromotory budou poháněny rovnoměrně. V případě potřeby vyššího výkonu než je jmenovitý výkon trakčního agregátu, bude použita energie z akumulátoru.



Obr. 029

Volím variantu č. 2. V případě pohonu všech trakčních elektromotorů nepatrně zkomplikujeme přestavbu vozu tím, že bude nutno propojit elektrické obvody obou podvozků. V 1. případě je přestavba nepatrně jednodušší, avšak může dojít ke zhoršení jízdních vlastností snížením adheze, protože počet stále hnaných náprav se sníží ze 4 na 2 nápravy.

7 Orientační výpočet hybridního pohonu:

7.1 Předpoklady výpočtu:

- každá stanice je v rovině
- vůz začne brzdít na začátku stanice ze 70km/h
- při rozjezdu dosáhne vůz 70km/h na konci stanice
- délka stanice není zahrnuta do redukovaného profilu tratě (eliminace výpočtu rozjezdů a brždění do různých sklonů)
- jízdní odpory stoupají lineárně s rychlostí
- na celém úseku trati je konstantní rychlost 70km/h (ve skutečnosti zde existují úseky s rychlostí 65km/h)

technické údaje potřebné k výpočtu:

hmotnost vozu 843: $m=56t$

hmotnost přípojného vozu 043: $m=32t$

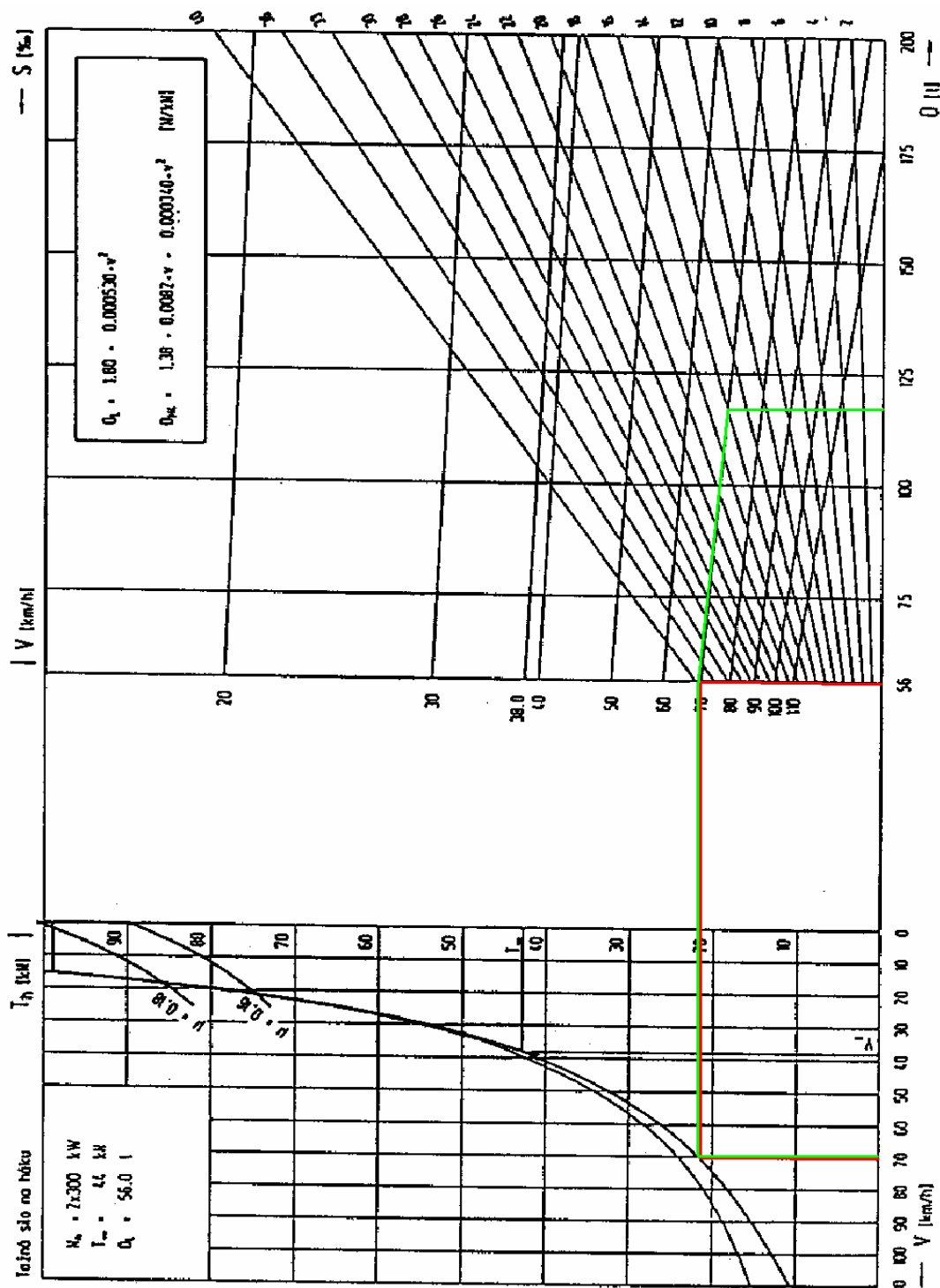
zrychlení vozu: 843 solo: $a=0,45m/s^2$

843+dva příp. vozy 043: $a=0,35m/s^2$... zjištěno měřením

Optimalizace je provedena nejdříve pro samotný motorový vůz **843 sólo** poté pro soupravu vozu 843 se dvěma přípojnými vozy **843+043+043**.

7.2 Výpočet jízdních odporů

Korefův zátěžový diagram (dále KZD):



tab. 1, Řada 843, příručka

hodnoty odečtené z KZD + výpočet ztrátového výkonu P_{jo} :

843 solo:

$$v=70\text{km/h}$$

$$s=40\text{‰}$$

$$P=P_{\max}=520\text{kW}$$

$$P_{pj}=F \cdot v = G \cdot \sin \alpha \cdot v = G \cdot \text{tg} \cdot v = m \cdot g \cdot s \cdot v = 56 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,04 \cdot 70/3,6 = 427\text{kW}$$

$$P_{jo} = P_{\max} - P_{pj} = 520 - 427 = 93\text{kW}$$

843+043+043:

$$v=70\text{km/h}$$

$$s=15,5\text{‰}$$

$$P=P_{\max}=520\text{kW}$$

$$P_{pj}=F \cdot v = G \cdot \sin \alpha \cdot v = G \cdot \text{tg} \cdot v = m \cdot g \cdot s \cdot v = 120 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,0155 \cdot 70/3,6 = 355\text{kW}$$

$$P_{jo} = P_{\max} - P_{pj} = 520 - 355 = 165\text{kW}$$

7.3 Výpočet energií rozjezdů a brždění

843 sólo

rozjezd:

$$t=v/a=(70/3,6)/0,45=43,2\text{s}$$

$$P_{pj}=\Delta E_k/\Delta t=(1/2 \cdot 56 \cdot 19,44^2\text{m/s})/43,2=245,056\text{s}$$

$$P_c=P_{pj}+P_{jostř}=245,056+93/2=291,5\text{kW} \dots P_{zstř} \text{ je střední ztrátový výkon } P_{jo}/2$$

$$P_o=P_c-P_j=291,5-260=31,5\text{kW} \dots P_j \text{ je jmenovitý výkon diesel-el. agregátu}$$

$$I=P_o/U=31500/600=52,5\text{A} \dots \text{napětí akumulátoru je } 600\text{V}$$

Výkon se odebírá po dobu zrychlení tedy 43,2s což je 0,012h

Z akumulátoru bude odebráno $E_b=A \cdot t$ tj. $52,5 \cdot 0,012=0,63\text{Ah}$ při rozjezdu.

brždění:

$$P_d=P_{pj}-P_{jostř}=245,056-93/2=198,5\text{kW}$$

$$I=198500/600\text{V}=330,1\text{A}$$

Teoreticky do baterie dodáno $E_b=4\text{Ah}$

843+043+043

rozjezd:

$$t=v/a=(70/3,6)/0,35=55,5\text{s}$$

$$P_{pj}=\Delta E_k/\Delta t=(1/2 \cdot 120 \cdot 19,44^2\text{m/s})/55,5\text{s}=408,5\text{kW}$$

$$P_c = P_{pj} + P_{jostř} = 408,5 + 165/2 = 491 \text{ kW}$$

$$P_o = P_c - P_j = 491 - 260 = 231 \text{ kW}$$

$$I = P_o / U = 231000 / 600 = 385 \text{ A}$$

Výkon se odebírá po dobu zrychlení tedy 55,5s což je 0,015h
Z akumulátoru bude odebráno $E_b = 385 \cdot 0,015 = 5,77 \text{ Ah}$ při rozjezdu.

brždění:

$$P_d = P_{pj} - P_{jostř} = 408,5 - 165/2 = 326 \text{ kW}$$

$$I = 326000 / 600 \text{ V} = 543,3 \text{ A}$$

Teoreticky do baterie dodáno $E_b = 8,15 \text{ Ah}$

7.4 Příklad výpočtu jízdních energií

$$P_{pj} = F \cdot v = G \cdot \sin \alpha \cdot v = G \cdot \tan \alpha \cdot v = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot l \text{ [W]}$$

$$P_c = P_{pj} + P_{jo} \text{ [W]}$$

$$t = l / v \text{ [s]}$$

l.....délka úseku trati daného stoupání [m]

kv...kilometrická vzdálenost [km]

v.....rychlost [km]

8 Optimalizace HP pro úsek trati Tábor-Písek

8.1 Souprava se dvěma přípojnými vozy ř. 043

Výpočet pro úsek Tábor-Písek:

kv [km]	s [%o]	t[s]	l[m]	Ppj [kW]	Pc [kW]	Pb [kW]	Ebo [Ah]	Ebd [Ah]
1,2	6,333	30,86	600,00	144,96	309,96	49,96	0,71	
1,8	6	20,57	400,00	137,34	302,34	42,34	0,40	
2,2	1,5	25,71	500,00	34,34	199,34	-60,67		
2,7	-5	30,86	600,00	-114,45	50,55	-209,45		
3,3	0,2	56,57	1100,00	4,58	169,58	-90,42		
4,4	12,2	144,00	2800,00	279,26	444,26	184,26	12,28	
7,2	12,9	72,00	1400,00	295,28	460,28	200,28	6,68	
8,6	0,1	6,58	128,00	2,29	167,29	-92,71		
8,728	0,8	13,99	272,00	18,31	183,31	-76,69		
9	0,3	19,70	383,00	6,87	171,87	-88,13		
9,383	0,8	4,11	80,00	18,31	183,31	-76,69		
9,463	-0,28	125,33	2437,00	-6,41	158,59	-101,41		
11,9	0,3	77,14	1500,00	6,87	171,87	-88,13		
13,4	11,8	46,29	900,00	270,10	435,10	175,10	3,75	
14,3	0,4	25,71	500,00	9,16	174,16	-85,84		
14,8	-10,9	128,06	2490,00	-249,50	-84,50	-344,50		-5,01
17,29	-0,3	103,37	2010,00	-6,87	158,13	-101,87		
19,3	-11,5	108,00	2100,00	-263,24	-98,24	-358,24		-4,91
21,4	-11,1	36,00	700,00	-254,08	-89,08	-349,08		-1,48
22,1	0,5	56,26	1094,00	11,45	176,45	-83,56		
23,194	10,4	7,77	151,00	238,06	403,06	143,06	0,51	
23,345	0,2	2,62	51,00	4,58	169,58	-90,42		
23,396	-0,2	10,49	204,00	-4,58	160,42	-99,58		
23,6	0,2	41,14	800,00	4,58	169,58	-90,42		
24,4	-12,4	15,43	300,00	-283,84	-118,84	-378,84		-0,85
24,7	0,5	10,29	200,00	11,45	176,45	-83,56		
24,9	5,1	30,86	600,00	116,74	281,74	21,74	0,31	
25,5	0	18,00	350,00	0,00	165,00	-95,00		
25,85	-3,6	62,07	1207,00	-82,40	82,60	-177,40		
27,057	0,8	141,07	2743,00	18,31	183,31	-76,69		
29,8	13	30,86	600,00	297,57	462,57	202,57	2,89	
30,4	10	5,14	100,00	228,90	393,90	133,90	0,32	
30,5	1,1	46,29	900,00	25,18	190,18	-69,82		
31,4	-9,3	19,08	371,00	-212,88	-47,88	-307,88		-0,42
31,771	-3,4	58,06	1129,00	-77,83	87,17	-172,83		
32,9	0,2	20,57	400,00	4,58	169,58	-90,42		
33,3	4,3	20,57	400,00	98,43	263,43	3,43	0,03	
33,7	-3,5	20,57	400,00	-80,12	84,89	-175,12		
34,1	-1,5	118,29	2300,00	-34,34	130,67	-129,34		
36,4	-13,1	156,34	3040,00	-299,86	-134,86	-394,86		-9,76
39,44	-11,8	29,62	576,00	-270,10	-105,10	-365,10		-1,44
40,016	-2,2	9,46	184,00	-50,36	114,64	-145,36		
40,2	-5,5	77,14	1500,00	-125,90	39,11	-220,90		

41,7	-11,1	15,43	300,00	-254,08	-89,08	-349,08		-0,64
42	0	128,93	2507,00	0,00	165,00	-95,00		
44,507	13,2	45,93	893,00	302,15	467,15	207,15	4,40	
45,4	3,1	72,00	1400,00	70,96	235,96	-24,04		
46,8	13,1	89,49	1740,00	299,86	464,86	204,86	8,49	
48,54	13	44,23	860,00	297,57	462,57	202,57	4,15	
49,4	-0,2	41,14	800,00	-4,58	160,42	-99,58		
50,2	-9,8	15,43	300,00	-224,32	-59,32	-319,32		-0,42
50,5	-1,1	36,00	700,00	-25,18	139,82	-120,18		
51,2	-11,8	46,29	900,00	-270,10	-105,10	-365,10		-2,25
52,1	1,5	5,14	100,00	34,34	199,34	-60,67		
52,2	-1,5	20,57	400,00	-34,34	130,67	-129,34		
52,6	-12,4	123,43	2400,00	-283,84	-118,84	-378,84		-6,79
55	-10,5	9,57	186,00	-240,35	-75,35	-335,35		-0,33
55,186	-3,6	43,05	837,00	-82,40	82,60	-177,40		
56,023	-2,5	3,96	77,00	-57,23	107,78	-152,23		
56,1	-2,5	113,14	2200,00	-57,23	107,78	-152,23		
58,3	-11,7	46,29	900,00	-267,81	-102,81	-362,81		-2,20
59,2	-14	12,34	240,00	-320,46	-155,46	-415,46		-0,89
59,44	1,4	28,80	560,00	32,05	197,05	-62,95		
60						SUMA	76,13	-37,41

tab. 2, výpočty

K výsledným energiím je ještě nutné přičíst energie odebrané a dodané akumulátoru při rozjezdech a zastaveních. Na zkušebním úseku trati je 18 stanic. Vlak tedy 17x zastaví a opět se rozjede.

Celkem baterie pro rozjezdy dodá $E_{bo}=5,77 \cdot 17=98,09\text{Ah}$

Rekuperací při brždění získáme $E_{bd}=8,15 \cdot 17=138,55\text{Ah}$. Po sečtení vypočítaných energií je získaná energie z akumulátoru

$E_{bo}=174,22\text{Ah}$ tuto energii dělíme zvoleným koeficientem účinnosti baterie 0,9.

A energie dodaná akumulátoru

$E_{bd}=123,17\text{Ah}$ tuto energii násobíme zvoleným koeficientem 0,7, který zahrnuje účinnost akumulátoru a počáteční prodlevu nabíjení akumulátoru.

Po odečtení $E_c=E_{bo}-E_{bd}=174,22-123,17=51,05\text{Ah}$ získáváme energii, kterou bude nutné dodat např. Při výběhu motorového vozu z kopce popř. plným zatížením diesel-elektrického agregátu na dílčích výkonech.

Energie získaná při výběhu:

Celková doba výběhu $t=487,83\text{s}$

$P_j=260\text{kW}$

$U=600\text{V}$

$I=P_j/U=260000/600=433,3\text{A}$ po dobu $487,83/3600\text{h}$

$E_{bd}=I \cdot t \cdot \eta=433,3 \cdot (487,83/3600) \cdot 0,7=41\text{Ah}$

Energie dodaná při výběhu je 41Ah, energii, kterou potřebujeme dodat je 70,4Ah. Doplněním systému o sledování stavu nabití akumulátoru, které by zároveň umožnilo automatickou regulaci nabíjení při zatížení na dílčích výkonech bychom získali zbytek rozdílu energií.

Výpočet pro úsek Písek-Tábor:

Postup výpočtu je shodný s výpočtem pro úsek Tábor-Písek.

$E_c = 43,93 \text{ Ah}$

8.2 Vůz 843 sólo

Výpočet pro úsek Tábor-Písek:

$E_c = -45,16 \text{ Ah} \Rightarrow$ hybridní jednotka pokryje celkové množství energie vydané akumulátorem

Výpočet pro úsek Písek-Tábor:

$E_c = -17,76 \text{ Ah} \Rightarrow$ viz předchozí

8.3 Volba akumulátoru el. energie

V závislosti na vypočítaných hodnotách a dostupnosti akumulátorů jsem zvolil aku články Energy plus⁵ s tekutým elektrolytem.



parametry 1 článku:

rozměry: délka x šířka x výška 47x198x370mm

hmotnost: 8,4kg

kapacita: 120Ah

Jedná se o 300 článků po 2V. Kapacita akumulátoru je 120Ah. Rozměr akumulátoru je 1410x1980x370mm o hmotnosti 2,52t. Hmotnost stávajícího pohonného agregátu je 970kg (diesel) + 1230kg (alternátor) = 2,2t. Rozdíl hmotností tedy není tak veliký, aby ho bylo nutné kompenzovat přídatnými závažími.

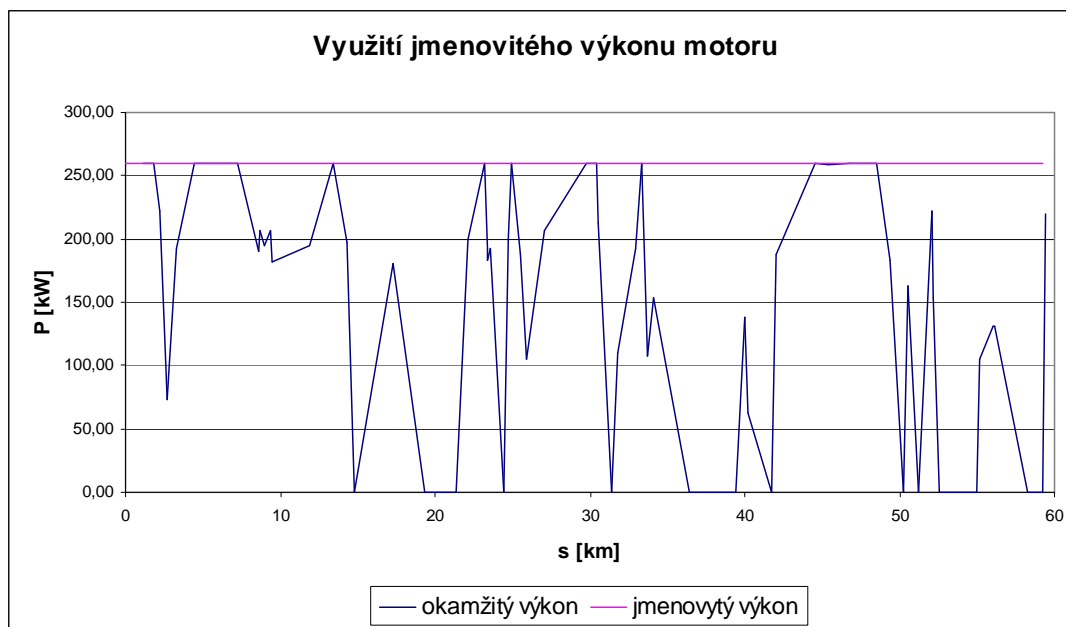
obr. 030

Při volbě akumulátorů jsem rovněž zvažoval akumulátory typu AGM s elektrolytem absorbovaným do gelu, tyto však pracují v rozsahu teplot 5-30°C, což by vyžadovalo temperování prostoru baterií v zimním období.

⁵ www.enersys-fmp.com

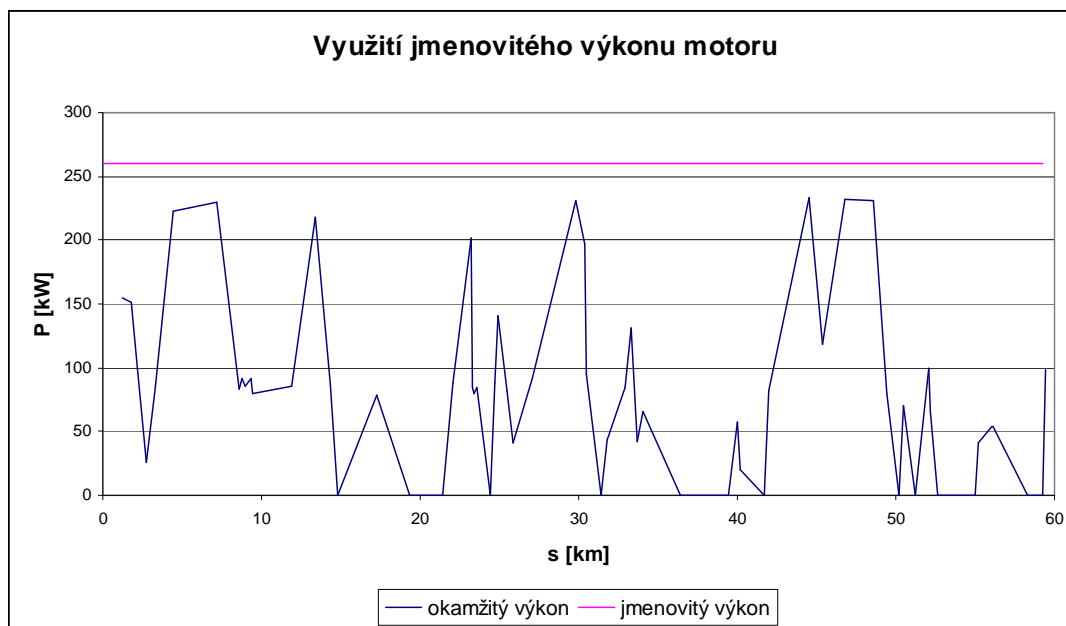
9 Porovnání jízdních režimů SP motorů

Diesel s HP:



graf 1

Diesel stávajícího pohonu:



graf 2

pzn: Graf 2 znázorňuje jízdní režim pouze jednoho ze dvou trakčních agregátů stávající koncepce pohonu.

10 Závěr:

Optimalizace na skutečné trati ukázala, že hybridní pohonná jednotka pro vůz řady 843 je realizovatelná.

Z charakteristik jízdních režimů spalovacích motorů pro stávající koncepci a koncept HP vyplývá, že v případě HP je spalovací motor více zatížen, což prospívá celkové efektivitě provozu.

Navržený koncept hybridní jednotky je dostatečně dimenzován, aby byl provozuschopný i na obtížnějších tratích. Vše je otázkou stavby prototypu, a proměření skutečných hodnot výkonů a jízdních odporů.

Pro realizaci přestavby diesel-elektrického pohonu vozu řady 843 na hybridní jednotku doporučuji výměnu dieselového agregátu. Praxe ukázala, že využití dieselu M 1,2 CML 640 D na plný výkon způsobuje vysokou poruchovost těchto agregátů⁶. Proto je v běžném provozu u stávající konstrukce lepší provozovat dva agregáty např. na 50% než jeden na 100% což ale výrazně zvyšuje spotřebu pohonné jednotky.

⁶ ing Bedenický, DKV Plzeň, konzultace

Seznam použité literatury a ostatních informačních zdrojů:

- /1/ České dráhy, a.s., DKV Plzeň.
- /2/ Tedom, s.r.o. – Divize motory, Jablonec nad Nisou.
- /3/ Vědeckotechnický sborník ČD č. 20/2005.
- /4/ Peter Palko, Hybridný pohon ako jedna z alternativ posunovacích rušňov Železniční doprava a logistika 3/2006.
- /5/ <http://www.enersys-fmp.com>
- /6/ <http://www.843krnov.fscr.cz>
- /7/ Atlas vozidel ŽM, 3.díl, Motorové vozy a jednotky ČD a ZSSK. M-
Presse Zlín, 2003.
- /8/ Alternativní pohony – výhody a nevýhody: Hybridní pohon osobních
automobilů. <http://vedmakalouskova.tripod.com/hybrid.htm>
- /9/ Zdeněk Nantl, Bohumil Skála, Josef Veisgäber, Hybridní lokomotiva
718.501 (TA 436.0501). Dráha, č. 9, rok 1995
- /10/ Bohumil Skála, Aku-dieselové lokomotivy. Dráha, č. 3, rok 1995
- /11/ Železniční doprava a logistika 3/2006